

Jolanta Żak

j.zak@wt.pw.edu.pl; nr ORCID: 0000-0002-2352-7978

Piotr Gołębiowski

pgolebiowski@wt.pw.edu.pl; nr ORCID: 0000-0001-6885-7738

Michał Kłodawski

mkloda@wt.pw.edu.pl; nr ORCID: 0000-0002-4256-2189

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Inżynierii Systemów Transportowych i Logistyki

Wybrane aspekty modelowania procesów magazynowych

Selected aspects of warehousing processes modeling

Modelowanie obiektów magazynowych, tj. badanie ich właściwości za pomocą uproszczonego odpowiednika – modelu, jest jednym z możliwych sposobów dążenia do poprawy jakości i ceny oferowanych usług. W artykule przedstawiono cele modelowania obiektów magazynowych oraz wymagania stawiane modelom matematycznym je odwzorowującym. Kolejny punkt poświęcono modelowaniu procesów magazynowych. Zaprezentowano procedurę modelowania procesów magazynowych. Przedstawiono także koncepcję modelu optymalizacji procesów magazynowych. Proponowany model matematyczny odzwierciedla strukturę fizyczną, funkcjonalną i potencjał obsługowy magazynu dowolnego typu oraz umożliwia odwzorowanie różnych procesów magazynowych i strategii ich realizacji.

Słowa kluczowe: proces magazynowy, modelowanie procesów, SIMMAG3D

Modelling of storage facilities is one of possible ways to improve the quality and price of offered services. The article presents goals of modelling warehouse objects and the requirements for mathematical models that map them. A procedure for modelling warehouse processes is presented. The concept of storage optimization model was also presented. The proposed mathematical model reflects the physical, functional and service potential of any type of warehouse, and enables mapping of various warehouse processes and strategies for their implementation.

Key words: warehouse process, process modelling, SIMMAG3D

WSTĘP

Modelowanie obiektów magazynowych, tj. badanie ich właściwości za pomocą uproszczonego odpowiednika – modelu, jest jednym z możliwych sposobów dążenia do poprawy jakości i ceny oferowanych usług. Zazwyczaj celem modelowania magazynów (zwłaszcza jako elementów łańcuchów dostaw) jest:

- zmniejszenie kosztów pracy magazynu,
- zwiększenie jakości realizacji usług logistycznych,
- zmniejszenie liczby popełnianych błędów jakościowych i ilościowych,
- zwiększenie wydajności magazynu w sensie jego możliwości przeładunkowych,
- zwiększenie wydajności magazynu w sensie wykorzystania przestrzeni i zasobów,
- poprawę bezpieczeństwa pracy ludzi oraz materiałów,

- zmniejszenie zapasów w łańcuchu dostaw,
- zwiększenie niezawodności realizowanych usług.

Odwzorowanie istniejącego bądź koncepcyjnego obiektu magazynowego lub jego fragmentu w postaci modelu matematycznego powinno odzwierciedlać złożoność i współzależność zjawisk zachodzących w badanym obiekcie oraz jego związki z otoczeniem. Uwzględniając powyższe model, którego celem jest badanie procesów magazynowych w aspekcie niezawodności i efektywności funkcjonowania tych obiektów, powinien m.in. (Jacyna, 2008), (Jacyna-Gołda, 2015), (Jacyna-Gołda, 2016), (Jacyna-Gołda, Izdebski i in., 2018), (Karkula, 2013), (Wasiak, 2006), (Żak, 2013):

- spełniać warunek podobieństwa funkcjonalnego,
- być systemem działaniowym w aspekcie realizacji celu, ponieważ każdy obiekt magazynowy pełni funkcje związane z realizacją zadania logistycznego,
- umożliwić ocenę stanu badanego obiektu na podstawie informacji uzyskanych z modelu z wcześniej przyjętą dokładnością.

Ze względu na ocenę procesów magazynowania w aspekcie efektywności i niezawodności ich realizacji opracowany model powinien uwzględniać:

- losowy charakter natężenia i struktury jakościowej strumieni materiałów na wejściu i na wyjściu (dostawy/ wysyłka),
- losowy charakter wykorzystania pojemności obszarów funkcjonalnych obiektu,
- zmienny stopień wykorzystania czasu pracy urządzeń i pracowników wynikający z niezawodności technicznej urządzeń i organizacji pracy pracowników,
- upływ czasu i organizacji procesów logistycznych,
- losowy czas realizacji poszczególnych przekształceń w obiekcie magazynowym,
- możliwość zastosowania różnych organizacji procesów logistycznych w obiekcie (tzw. ścieżki technologiczne).

W artykule omówiono zagadnienia dotyczące modelowania procesów magazynowych. Przedstawiono ich definicję oraz podział. Szczegółowo omówiono także procedurę modelowania procesów magazynowych. Ponadto zaproponowano koncepcję modelu matematycznego optymalizacji procesów magazynowych. Proponowany w artykule model matematyczny odzwierciedla strukturę fizyczną, funkcjonalną i potencjał obsługowy magazynu dowolnego typu (por. (Wasiak, 2005), (Wasiak, 2009), (Żak, 2013)) oraz umożliwia odwzorowanie różnych procesów magazynowych i strategii ich realizacji.

1. MODELOWANIE PROCESÓW MAGAZYNOWYCH

Proces magazynowy definiowany jest jako ciąg czynności dokonywanych na strumieniach ładunków i towarzyszących im strumieniach informacji, wykonywanych przez ludzi i urządzenia, w poszczególnych obszarach (strefach) obiektów logistycznych. Do podstawowych i najczęściej spotykanych w procesie magazynowym czynności zalicza się (Jacyna i Lewczuk, 2016):

- przyjęcie materiałów,
- buforowanie i składowanie w strefie rezerw,
- komisjonowanie i kompletację,
- sortowanie i pakowanie oraz ich wysyłkę do klienta.

Dodatkowo w procesie magazynowym należy uwzględnić także czynności związane z transportem wewnętrznym np.:

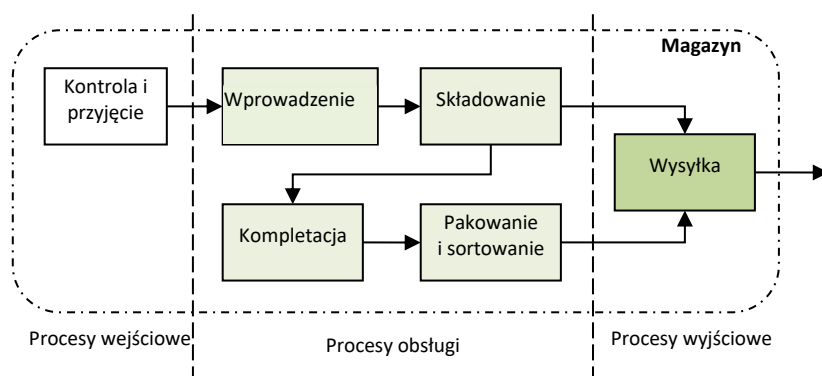
- wprowadzenie i wyprowadzenie ze strefy rezerw,
- uzupełnianie strefy kompletacji,
- cross-docking - ładunki dostarczone do obiektu logistycznego są od razu przeładowywane lub dodatkowo rozdzielane i przeformowywane, pomijając tym samym część procesu magazynowego związaną ze składowaniem w strefie rezerw.

Przez modelowanie procesów magazynowych rozumiana jest budowa modelu całego procesu, który umożliwi analizę zachowania się systemu magazynowego w czasie, zarówno w bieżących warunkach eksploatacyjnych, jak podczas prac projektowych. Zatem istotą modelowania procesów magazynowych jest badanie związków między zadaniami systemu, jego wyposażeniem oraz organizacją działania systemu sprowadzającą się do wyboru technologii przebiegu procesu. Ważnym aspektem w tym zakresie jest właściwy dobór wyposażenia infrastrukturalnego systemu do zmiennych w czasie zadań oraz zmiennych warunków otoczenia.

Biorąc pod uwagę powyższe, problematyka modelowania procesów magazynowych dotyczy zarówno aspektów technicznych, techniczno-technologicznych jak i organizacyjnych. W każdym z wymienionych obszarów występują problemy decyzyjne obejmujące szerokie spectrum czynników, które należy uwzględnić przy wyborze sposobu (technologii) realizacji procesu magazynowania ładunków. Uwzględniając powyższe problematyka modelowania procesów magazynowania dotyczy skomplikowanych zagadnień. Do badania przebiegu procesów transportowych wykorzystuje się różne narzędzia, np. metody stochastyczne, programowanie dynamiczne czy teorię masowej obsługi.

Analiza dostępnych narzędzi do badań symulacyjnych wskazała, że nie pozwalają one efektywnie oraz z wymaganą dokładnością odwzorować procesów realizowanych w obiektach magazynowych. Chodzi tu przede wszystkim o możliwość uwzględniania poszczególnych jednostek ładunków wraz z identyfikacją ich lokalizacji w przestrzeni. Ponadto, ze względu na konieczność pozyskania do tych analiz szczegółowych danych istotne jest, aby narzędzie do badań symulacyjnych było kompatybilne z systemami klasy WMS.

W typowym modelu systemu magazynowego wyróżniamy trzy podstawowe grupy procesów: wejścia, obsługi i wyjścia strumieni ładunków (rysunek 1). Umożliwia to identyfikację i dobór odpowiedniego modelu matematycznego do opisu procesów zestawionych w poszczególnych grupach (Kłodawski, Lewczuk i in., 2017).



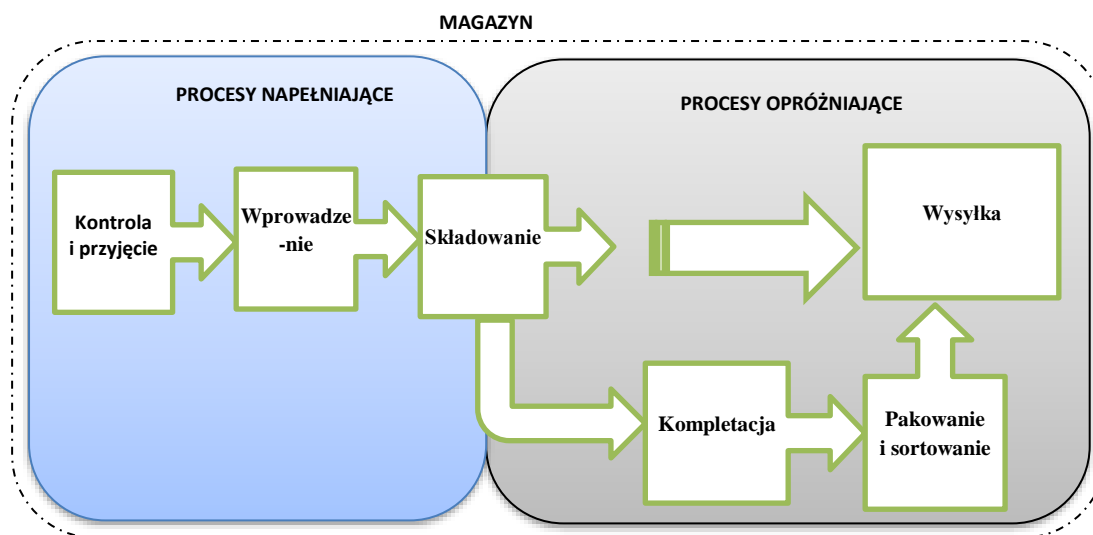
Rysunek 1. Podział procesów magazynowych

Źródło: opracowanie własne.

W zależności od fazy procesu logistycznego realizowanego w obiekcie magazynowym przekształcenia można podzielić na (rysunek 2):

- napełniające obszary składowania, których dobowa liczba zależy od struktury dostaw,
- opróżniające obszary składowania, których dobowa liczba zależy od struktury zleceń klientów.

W przypadku modelowania procesu magazynowego dąży się do odwzorowania działalności systemu magazynowego z dokładnością do ruchu jednostek ładunkowych. Podejście takie pozwala na prowadzenie badań zależności występujących między zadaniami, wyposażeniem i organizacją działania systemu z dokładnością porównywalną z obserwowaniem rzeczywistych systemów.



Rysunek 2. Podział procesów magazynowych na opróżniające i napełniające

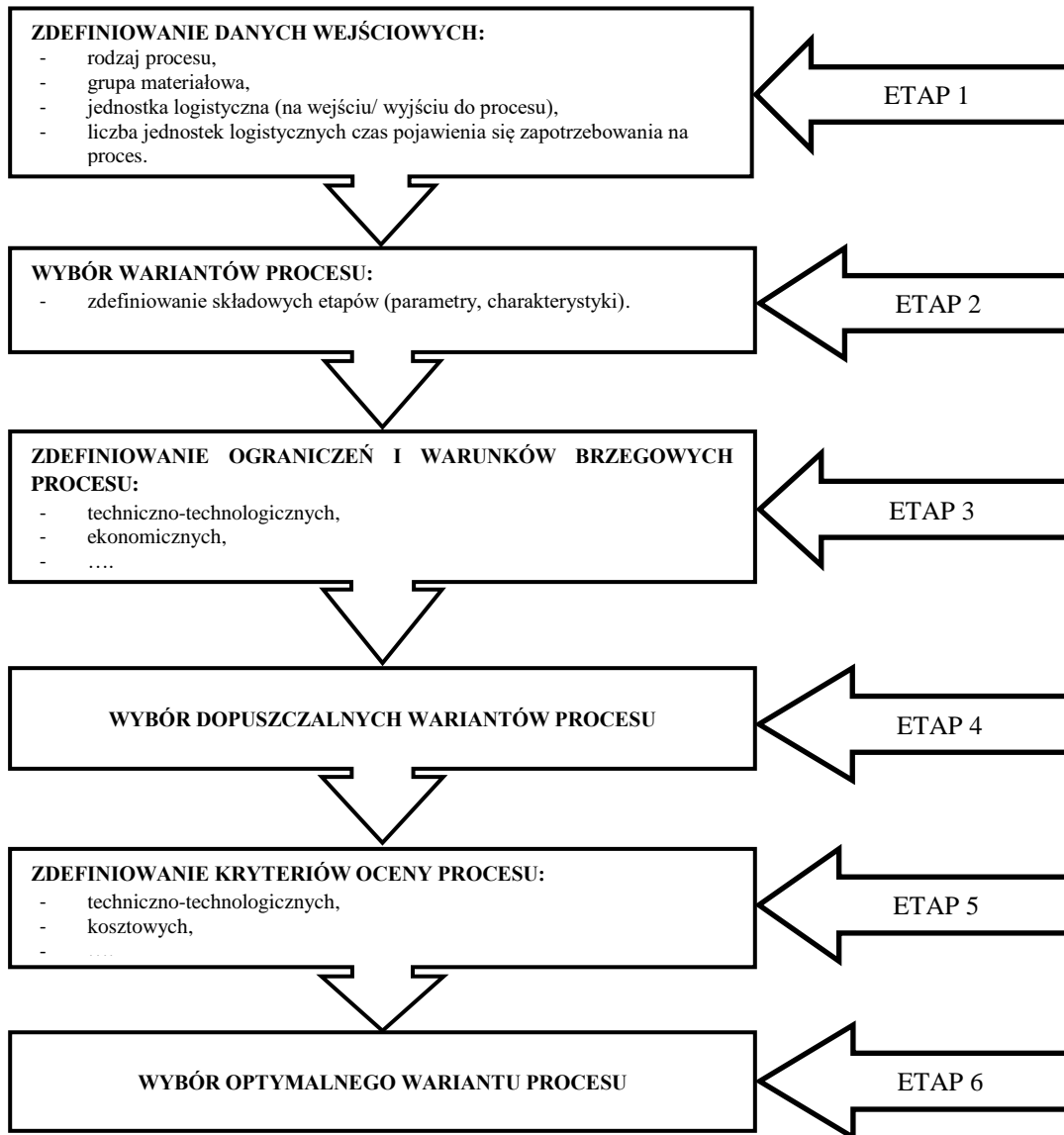
Źródło: opracowanie własne.

W celu odwzorowania procesu magazynowego w modelu przyjęto założenia dotyczące charakterystycznych cech procesu magazynowego. Po pierwsze realizacja procesów magazynowych (przemieszczanie i składowanie jednostek materiału) określona jest relacjami przemieszczania, rodzajem, liczbą oraz cechami przemieszczanych obiektów w systemie magazynowym. Ponadto charakteryzuje się zmienną intensywnością strumieni jednostek ładunków, co powoduje, że procesy magazynowe mogą mieć charakter stacjonarny lub niestacjonarny.

Uwzględniając powyższe procedurę wyboru najlepszego wariantu realizacji procesu magazynowego można podzielić na 6 etapów (rysunek 3) tj.:

- *Etap 1. Zdefiniowanie danych wejściowych.* Wśród danych wejściowych wyróżniamy: strukturę dostaw/wysyłki oraz czas przybycia zlecenia, rodzaj procesu: napełniający lub opróżniający.
- *Etap 2. Wybór wariantów procesu.* Wśród procesów wybieramy napełniające/oprózniające dla danych początkowych i ustalamy ciąg ich składowych tworzących dany proces wraz z ich parametrami.
- *Etap 3. Zdefiniowanie ograniczeń i warunków brzegowych procesu.* W tym etapie określone są ograniczenia wynikające ze struktury i wyposażenia obiektu magazynowego, a także jego stanu w danej chwili.
- *Etap 4. Wyznaczenie dopuszczalnych wariantów procesu.* Po uwzględnieniu ograniczeń wyznaczony zostaje zbiór możliwych do realizacji procesów.

- *Etap 5. Zdefiniowanie kryteriów oceny procesu.* W tym kroku zdefiniowane zostaną kryteria oceny procesu oraz w przypadku oceny wielokryterialnej zaproponowana zostanie metoda oceny wielokryterialnej.
- *Etap 6. Wybór optymalnego wariantu procesu.* Na podstawie wyników oceny wielokryterialnej wybrany zostanie optymalny wariant procesu magazynowego.



Rysunek 3. Procedura modelowania procesu magazynowego

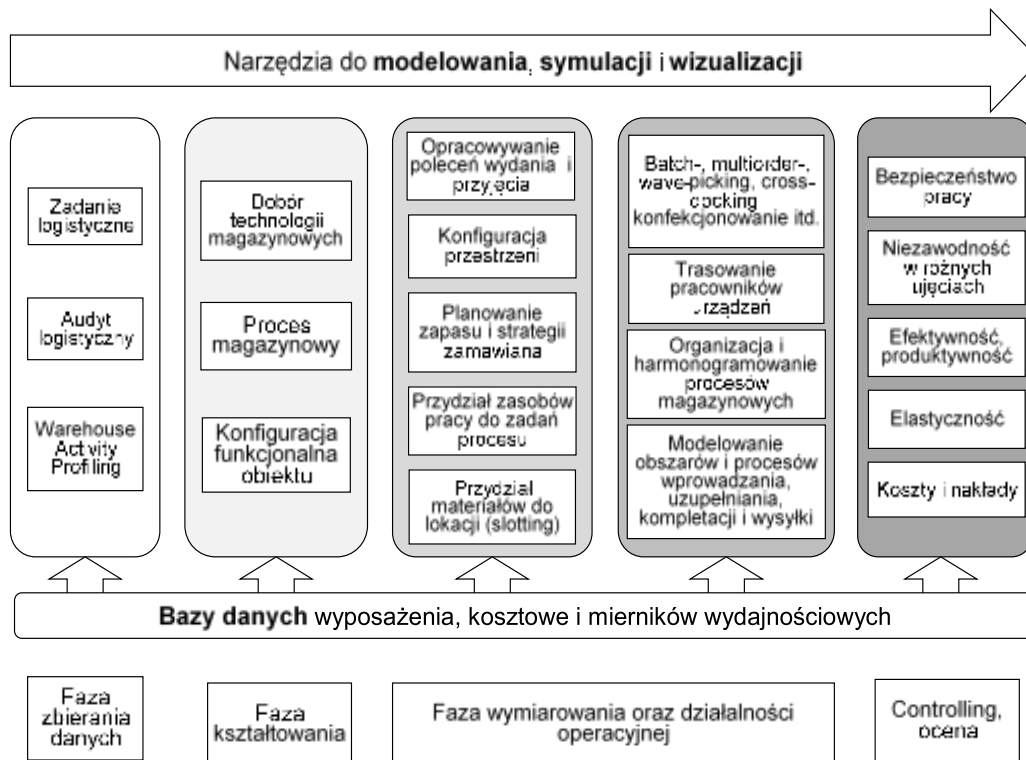
Źródło: opracowanie własne.

2. KONCEPCJA MODELU MATEMATYCZNEGO PROCESU MAGAZYNOWEGO

Modelowanie jest etapem pośrednim budowy narzędzi wspierających prace projektowe i zarządzanie infrastrukturą magazynową. Narzędziem, które może sprostać wymaganiom zarówno analityków jak i projektantów jest system SIMMAG3D, który został opracowany

w ramach projektu „System do modelowania i wizualizacji w 3D obiektów magazynowych” zrealizowanego przez Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej w konsorcjum z firmą Logifact (Jachimowski, Gołębiowski i in., 2017), (Jacyna, Gołębiowski i in., 2017), (Jacyna, Wasiak i Bobiński, 2017).

Na rysunku 4 przedstawiono podstawowe obszary modelowania magazynów na różnych etapach życia magazynu.



Rysunek 4. Potencjalne obszary modelowania obiektów magazynowych

Źródło: opracowanie własne

Znajomość i analiza przepływów materiałowych pozwala określić miejsca i czas realizacji poszczególnych operacji transportu i składowania w projektowanym obiekcie magazynowym – począwszy od wejścia materiałów aż po ich wyjście. Na podstawie zapisu procesu przepływu można ustalić miejsca i czas gromadzenia się zapasów oraz czasy i odległości cykli transportowych. To wszystko pozwala na ustalenie stref funkcjonalnych oraz pracochłonności ze względu na pracę urządzeń i ludzi.

Do podstawowych elementów modelu magazynu zaliczono (Żak, Jachimowski i Gołębiowski, 2016), (Żak, Jachimowski i in., 2017), (Pyza, Jachimowski i in., 2017):

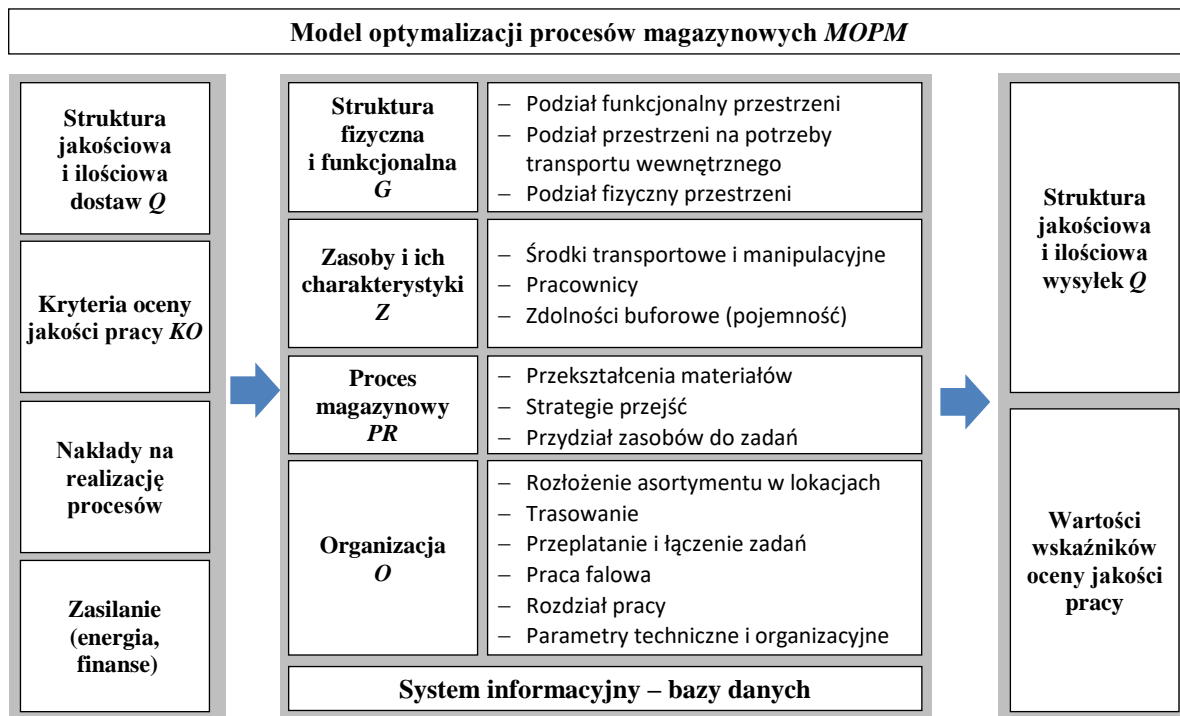
- elementy stałe: składniki architektoniczne budynku, konstrukcje regałowe, systemy podziału przestrzeni oraz wyznaczane przez nie ciągi komunikacyjne,

- zasoby pracy: środki i urządzenia transportu wewnętrznego oraz pracownicy,
- jednostki pomocnicze do pakowania i formowania (nośniki),
- system informacyjny.

Dodatkowo należy wymienić składowe niematerialne:

- zasady organizacji przepływu materiałów,
- podział funkcjonalny przestrzeni magazynu,
- struktura dostaw i wysyłek z magazynu oraz źródła zasilania systemu (energetyczne i finansowe).

Wymienione elementy, opisane i sformalizowane do postaci spójnej konstrukcji matematycznej tworzą *Model Optymalizacji Procesów Magazynowych MOPM* (rysunek 5).



Rysunek 5. Struktura elementów *MOPM*

Źródło: opracowanie własne.

Zakładając, że odwzorowanie wielkość zadań logistycznych dla obiektu magazynowego oznaczane jest symbolem Q , odwzorowanie struktury obiektu magazynowego – symbolem G , odwzorowanie środków transportu i urządzeń magazynowania, charakterystyk elementów struktury obiektu magazynowego oraz zasobów ludzkich – symbolem Z , odwzorowanie procesu magazynowego – symbolem PR , organizacja realizacji procesów w obiekcie magazynowym – symbolem O , zestaw wskaźników pomiaru efektywności i niezawodności funkcjonowania – symbolem KO oraz system informatyczny wyposażony

w bazy danych – symbolem *SIBD*, *Model Optymalizacji Procesów Magazynowych* ze względu na ich niezawodność i efektywność (*MOPM*) zapisać można jako uporządkowaną strukturę postaci:

$$MOPM = \langle Q, G, Z, PR, O, KO, SIBD \rangle \quad (1)$$

Tak sformułowany model można uszczegóławiać zgodnie z celem i zakresem badań. Na modelu tym opisywane są ograniczenia i konstruowane są funkcje kryterium w zależności od analizowanych przypadków.

3. WNIOSKI

Specjaliści z firmy Logifact Systems oraz pracownicy naukowcy Zakładu Logistyki i Systemów Transportowych w latach 2015 - 2017 opracowali model procesu magazynowego, który po implementacji w postaci autorskiej aplikacji (Gołębiowski i in., 2017), (Jachimowski, Gołębiowski i Pyza, 2016), która ponadto umożliwia wizualizację stanów magazynowych w 3D. To unikalne połączenie pozwala na wykorzystanie wyników projektu do doskonalenia rzeczywistych obiektów magazynowych, głównie u klientów firmy Logifact.

Model opracowany w ramach Projektu SIMMAG3D umożliwia odwzorowanie istniejących bądź kształtowanie nowych obiektów magazynowych, formułowanie ich wariantów projektowych, reorganizację, symulację zachodzących w nich procesów i estymację określonych wskaźników i charakterystyk pozwalających na ocenę danego wariantu obiektu logistycznego. Modele tworzone przy zastosowaniu nowego systemu są przystosowane do współpracy z systemem klasy WMS lub innymi systemami do symulacji.

Praca naukowa zrealizowana częściowo w ramach projektu PBS3 „System do modelowania i wizualizacji w 3D obiektów magazynowych” (SIMMAG3D) finansowanego z NCBR oraz częściowo pracy statutowej Politechniki Warszawskiej.

LITERATURA

Gołębiowski, P., Izdebski, M., Jachimowski, R., Jacyna, M., Jacyna-Gołda, I., Kłodawski, M., Lewczuk, K., Pyza, D., Szczepański, E., Wasiak, M., Żak, J. (2017). Warehouse designing and modeling with 3D visualization support. Warszawa, Index Copernicus International.

Jachimowski, R., Gołębiowski, P., Izdebski, M., Pyza, D., Szczepański, E. (2017). Designing and efficiency of database for simulation of processes in systems. Case study for the simulation of warehouse processes. Archives of Transport, vol. 41, iss. 1, 31-42.

Jachimowski, R., Gołębiowski, P., Pyza, D. (2016). Kształtowanie baz danych dla wizualizacji obiektów magazynowych w 3D. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

- Jacyna, M. (2008). Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Jacyna, M., Gołębiowski, P., Szczepański, E., Wasiak, M. (2017). Efficacy of Data Security in Managing the Database of SIMMAG 3D System. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 187, 526-531.
- Jacyna, M., Lewczuk, K. (2016), Projektowanie systemów logistycznych. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Jacyna, M., Wasiak, M., Bobiński, A. (2017). SIMMAG3D as a tool for designing of storage facilities in 3D. *Archives of Transport*, vol. 42, iss. 2, 25-38.
- Jacyna-Gołda, I. (2015). Evaluation of operational reliability of the supply chain in terms of the control and management of logistics processes. W: T. Nowakowski (red.), *Safety and Reliability: Methodology and Applications*. CRC Pres Taylor & Francis Group.
- Jacyna-Gołda, I. (2016). Wspomaganie decyzji w łańcuchach dostaw w aspekcie oceny efektywności realizacji zadań. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Jacyna-Gołda, I., Izdebski, M., Szczepański, E., Gołda, P. (2018). The assessment of supply chain effectiveness. *Archives of Transport*, vol. 45, iss. 1, 43-52.
- Karkula, M. (2013). Modelowanie i symulacja procesów logistycznych. Kraków: Wydawnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.
- Kłodawski, M., Lewczuk, K., Jacyna-Gołda, I., Żak, J. (2017). Decision making strategies for warehouse operations. *Archives of Transport*, vol. 41, iss. 1, 43-53.
- Pyza, D., Jachimowski, R., Gołębiowski, P., Żak, J., Wasiak, M., Szczepański, E., Kłodawski, M. (2017). Database Security in Terms of Modeling and Visualization of Warehouse Objects in 3D Using System SIMMAG3D. W: *Proceedings of 21st International Scientific Conference Transport Means 2017*. Kaunas University of Technology. Kaunas: Publishing House "Technologija", 814 – 818.
- Wasiak, M. (2005), Symulacja procesów logistycznych z wykorzystaniem programu SymProLog 1. W: T. Ambroziak (red.), *Systemy Logistyczne. Teoria i Praktyka*, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 525-532.
- Wasiak, M. (2006). Odwzorowanie obiektu logistycznego jako systemu masowej obsługi. *Logistyka*, nr 6.
- Wasiak, M. (2009). Simulation model of logistic system. *Archives of Transport*, vol. 21, iss. 3-4, 189-206.
- Żak, J. (2013). Modelowanie procesów transportowych metodą sieci faz. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport z. 99*, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Żak, J., Jachimowski, R., Gołębiowski, P. (2016). Modelling of storage facilities using databases. W: *Proceedings of 20th International Scientific Conference Transport Means*. Kaunas: Publishing House "Technologija", 772 – 777.
- Żak, J., Jachimowski, R., Gołębiowski, P., Szczepański, E. (2017). Relational character of the data in the context of functional modules of the system SIMMAG 3D. W: *CLC 2016: Carpathian Logistics Congress – Congress Proceedings. Edition 1st*. Ostrava: Tanger Ltd., 700-705.